

УДК 625.732:625.8-042.2

О. Ф. ЛУЖИЦЬКИЙ¹, М. Б. КУРГАН^{2*}, М. А. ГУСАК³, В. І. УЛАНОВСЬКИЙ⁴

¹Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта oleg.luzhickii@gmail.com, ORCID 0000-0001-6519-7447

^{2*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

³Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта marka2410@gmail.com, ORCID 0000-0001-8187-7792

⁴Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 48, ел. пошта vasya.ulanovskij@gmail.com, ORCID 0009-0002-6316-9172

Відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування автомобільної дороги

Мета. Основною метою цієї роботи є розроблення методики відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування автомобільної дороги. **Методика.** Дослідження побудовано відповідно до рекомендацій інформаційного довідника для проектувальників та замовників під час розроблення проектних рішень щодо відновлення автомобільних доріг загального користування та попередньої оцінки завданих збитків від їх руйнування внаслідок збройної агресії Російської Федерації. Для оцінки стану дороги та визначення необхідних робіт із відновлення дорожнього покриття можна використовувати індекси, які враховують різні типи дефектів на дорозі. Порівняння різних варіантів дорожнього покриття виконано шляхом використання «матриці пріоритетів». Сумарна оцінка для кожного типу покриття надає можливість визначити найбільш раціональний варіант. **Результати.** За результатами дослідження встановлено, що під час вибору методу організації будівельних робіт із відновлення дорожнього одягу слід враховувати наявність матеріалів, технічного оснащення і термінів відбудови. Вибір конструкції покриття й матеріалу залежить від ступеня руйнування дороги, що встановлюють за техніко-економічними показниками з урахуванням життєвого циклу автомобільної дороги. Вартість ремонту та обслуговування протягом життєвого циклу дорожнього покриття є ключовим аспектом у плануванні та управлінні інфраструктурою. Оцінка цих витрат допомагає ефективно розподіляти бюджет, визначити пріоритети й раціонально витратити ресурси на підтримання якості доріг. **Наукова новизна.** Запропоновано методичні підходи до встановлення конструкції дорожнього покриття за об'ємами й вартістю матеріалів із корегуванням прийнятого рішення за експлуатаційними показниками, що враховують тривалість служби, опір руху транспортним засобам, зносостійкість, шум, вібрацію і в остаточному підсумку – безпеку руху транспортних засобів. **Практична значимість.** Надані рекомендації з відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування сприятимуть прийняттю ефективних проектних рішень та попередньої оцінки завданих збитків від руйнування або пошкодження автомобільних доріг унаслідок збройної агресії Російської Федерації.

Ключові слова: автомобільна дорога; поперечний профіль; проїжджа частина автодороги; насип; виїмка; об'єми земляного полотна; асфальтобетонне покриття; цементобетонне покриття

Вступ

Автомобільна дорога – лінійний комплекс інженерних споруд, призначений для безперервного, безпечного та зручного руху автотранспортних засобів. Мережа автомобільних доріг України становить близько 170 тис. км (з урахуванням Криму та тимчасово окупованих територій на Сході України), із яких 29 % – дороги державного значення. При цьому на дорогах державного значення переважають асфальтобетонні покриття (79,9 % від загальної площі доріг із твердим покриттям). Щільність автомобі-

льних доріг у 5–7 разів нижча порівняно з автодорогами країн Західної Європи та США і становить 280,6 км/1000 км², або 3,7 км/1000 чол.

Від якості автомобільних доріг залежить безпека руху, комфортність перевезення пасажирів, ефективність роботи автомобільного транспорту загалом, термін служби дорожніх конструкцій. Конкуренентоспроможність установлюють за показником The Global competitiveness index (GCI). Згідно з даними World Economic Forum, у 2018 році Україна посіла 123-тє місце у світі зі 137 країн-учасниць

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

рейтингу. Більшість міжнародних та національних доріг перебувають у задовільному стані, проте окремі ділянки місцевих доріг – у поганому або аварійному стані.

Згідно із затвердженою Кабінетом Міністрів України п'ятирічною цільовою програмою фінансування дорожньої галузі, починаючи з 2020 року, заплановано повністю перейти з поточного середнього ремонту автомобільних доріг на капітальний.

Справність доріг має найважливіше значення в сучасному світі з кількох причин:

– *безпека*: дорога з хорошим ремонтом гарантує безпеку автомобілістів, пішоходів та інших учасників дорожнього руху, знижуються ризики аварій через вибоїни, тріщини та інші дефекти дорожнього покриття;

– *ефективність*: висока експлуатаційна здатність доріг дозволяє швидше й ефективніше доставляти вантажі та пасажирів, водії можуть рухатися з більшою швидкістю без ризику пошкодження своїх транспортних засобів або аварій. Це може скоротити час у дорозі та підвищити продуктивність;

– *економічні переваги*: дороги сприяють економічному зростанню завдяки поліпшенню доступу до ринків, зниженню транспортних витрат і залученню інвестицій. Вони забезпечують кращий досвід водіння, що може залучити туристів і підтримати місцевий бізнес;

– *переваги для навколишнього середовища*: дороги можуть зменшити викиди, дозволяючи транспортним засобам рухатися на вищих швидкостях без простою та зупинок. Це зменшує кількість споживаного палива та поліпшує якість повітря;

– *соціальні переваги*: можна поліпшити якість життя мешканців за рахунок зменшення шуму, вібрації та пилу, що має вплив на загальні умови життя в громадах і може сприяти кращим показникам здоров'я.

Отже, роль автомобільних доріг, зокрема їх якість є, без перебільшення, вирішальною у сфері економіки та мобільності громадян країни. Водночас зношеність доріг складає 97 %, у тому числі 39 % доріг державного значення не відповідають вимогам за міцністю, а 51 % – за рівністю [8]. Мережа автомобільних доріг загального користування України перебуває в незадовільному стані, зокрема майже 90 %

доріг потерпають від недоремонтів протягом останніх 30 років, про що свідчать дані з офіційних джерел [11].

Упровадження довгострокових програм експлуатаційного утримання доріг у світовій практиці отримало позитивний досвід, що визначає необхідність обґрунтування моделей управління проектами експлуатаційного утримання з урахуванням сучасного стану мережі в Україні. Такий підхід забезпечить стабільні умови здійснення необхідних ремонтно-відновлювальних заходів.

Об'єкти інфраструктури стали однією з ключових сфер, які зазнали найбільших атак із боку агресора з розгортанням повномасштабної війни проти України. Детальний аналіз стану доріг, пошкодження унаслідок обстрілів та проїзду танків, можливий лише за умов спеціалізованого технічного обстеження, що не є можливим у ситуації, коли на значній частині території України досі тривають активні бойові дії, а частина доріг і мостів знаходиться на тимчасово окупованій території.

За попередніми оцінками, унаслідок бойових дій руйнувань зазнали 23,8 тис. км доріг та 305 мостів і мостових переходів. Попередній огляд стану доріг у деокупованих регіонах (Чернігівська, Київська, Сумська, Харківська області) підтверджує інформацію щодо значних руйнувань структури доріг унаслідок проходження танків та іншої важкої військової техніки, що вимагатиме реконструкції значної частини пошкоджених доріг. У цій статті розглянуто будівельні роботи з відновлення дорожнього одягу залежно від ступеня руйнування автомобільної дороги.

Мета

Оскільки завдання відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування автомобільної дороги є актуальним у наш час, то основною метою роботи є вибір конструкції та розроблення методики відновлення автомобільної дороги на прикладі ділянки Старий Салтів – Приколотне Харківської області.

Методика

Дослідження спирається на інформаційний довідник для проектувальників та замовників під час розроблення проектних рішень щодо

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

відновлення автомобільних доріг загального користування та попередньої оцінки завданих збитків від їх руйнування або пошкодження внаслідок збройної агресії Російської Федерації [2]. В Альбомі наведено конструкції дорожнього одягу для відновлення автомобільних доріг загального користування залежно від ступенів їх руйнування або пошкодження.

Відомо, що конструкція дорожнього одягу може відрізнятись залежно від типу дороги, її класу, наявності підземних комунікацій та інших факторів. Найбільш поширеними конструкціями дорожнього одягу є:

– асфальтобетонна конструкція: шар асфальтобетону накладають на підготовлену підоснову. Ця конструкція є основною для більшості доріг із твердим покриттям. Вона дозволяє забезпечити високу швидкість руху транспорту та довговічність дорожнього покриття;

– бетонна конструкція: шар із бетону накладають на підготовлену підоснову. Цю конструкцію використовують для доріг із високим рівнем навантаження, наприклад, для автострад;

– бруківчаста конструкція: утворена зі спеціально оброблених каменів, які мають певний розмір та форму. Цю конструкцію використовують для облаштування тротуарів, площ та вулиць зі зменшеним рухом автотранспорту;

– гравійна конструкція: складається з гравійного шару, на який накладають верхній шар з асфальту або бетону. Цю конструкцію використовують на менш важливих дорогах або на тимчасових об'єктах.

Залежно від умов експлуатації дороги, конструкції можуть бути змінені, наприклад, шляхом додавання додаткових шарів матеріалу або зміни їх товщини. Також можна застосовувати спеціальні матеріали для збільшення міцності та тривалості дорожнього покриття, такі як гума, полімери або спеціальні добавки.

Окрім того, конструкції дорожнього одягу можуть бути змінені залежно від кліматичних умов, оскільки від них залежить морозостійкість та водонепроникність дорожнього покриття. Наприклад, у зоні із сухим кліматом можна використовувати менше шарів матеріалу, а в зоні з високою вологістю та частими опадами – більше.

Також важливо враховувати вид транспорту, що рухається по дорозі, адже від нього зале-

жить навантаження на дорожнє покриття. Для важких автомобілів можна застосовувати спеціальні конструкції з більш товстими та міцними шарами матеріалу.

Одним із підходів до розв'язання проблеми відновлення дорожнього покриття є використання математичних моделей та алгоритмів для прогнозування стану дороги та підбору оптимальних методів її відновлення. Так, у роботі [20] автори досліджували різні методи прогнозування стану дорожнього покриття на основі даних про його відмінності та руйнування доріг. За результатами дослідження було розроблено прогностичні моделі для визначення необхідності та оптимальних методів підтримки дорожнього покриття.

Для оцінки стану дороги та визначення необхідних робіт із відновлення дорожнього покриття можна використовувати індекси, які враховують різні типи дефектів на дорозі. Наприклад, у статті [23] автори провели огляд методів відновлення дорожнього покриття для різних типів дефектів, таких як тріщини, вибоїни, розшарування тощо.

Для більш ефективного використання інформації можуть бути розроблені системи моніторингу та контролю за станом дороги, які дозволять збирати дані про дефекти та їх розповсюдження на дорозі, а також використовувати ці дані для прогнозування майбутнього стану дороги та планування робіт з її відновлення. Одним із прикладів такої системи є програмне забезпечення Road Doctor, розроблене компанією ARRB Group. Ця система використовує дані, зібрані за допомогою спеціальних датчиків, для аналізу стану дороги та розрахунку її залишкового ресурсу. На основі цих даних програма пропонує оптимальні методи відновлення дорожнього покриття та розраховує вартість необхідних робіт [17].

Також важливо враховувати екологічні аспекти під час відновлення дорожнього покриття. Для цього можуть бути використані екологічно чисті матеріали та технології, такі як відновлення дороги за допомогою вторинної переробки асфальту. Наприклад, у статті [18] автори досліджували використання різних реагентів і технологій для відновлення дорожнього покриття з максимальною економією матеріальних та енергетичних ресурсів. Крім того, важливо

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

виконувати регулярні перевірки та обстеження дорожнього покриття з метою вчасного виявлення дефектів та вжиття заходів щодо їх виправлення. У статті [19] автори провели аналіз ефективності різних методів підтримки дорожнього покриття з метою підвищення його тривалості та зменшення витрат на його підтримку. Проблеми відновлення дорожнього покриття існують у різних країнах. Так, у роботі [22] наведено результати загального руйнування асфальтового покриття. Відповідно до поточного дослідження національної автомагістралі № 61 встановлено, що переважають поздовжні тріщини, розтріскування, колії, плями та втомні тріщини. На ці п'ять пошкоджень припадало 97,41 % ваги руйнування бітумного покриття. Авторі дійшли висновку, що поздовжні тріщини та розтріскування трапляються найчастіше, і такий тип руйнування є найпоширенішим видом погіршення дорожнього покриття разом із розтріскуванням від втоми та колійністю на багатьох дорогах Індії.

Питанням відновлення інфраструктури залізниць приділено увагу на різних міжнародних конференціях у 2022–2023 рр. Так, метою Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції [7] був аналіз сучасних підходів з удосконалення транспортно-логістичної інфраструктури та визначення найбільш ефективних напрямів їх застосування для відновлення, модернізації та подальшого комплексного розвитку української логістичної системи, створення стратегії якісного відновлення автомобільних доріг.

У збірнику наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції [21] викладено результати досліджень фахівців Українського державного університету науки і технологій, із яких випливає, що значну роль у процесі відновлення відіграють сучасні технології, новаторські технічні рішення, конструкторські розробки, наукові відкриття, інженерні інновації. Державна спеціальна служба транспорту Міністерства оборони України першою взяла «на озброєння» цифрові науково-технічні рішення від Dystlab, які забезпечать наукове підґрунтя для швидкого відновлення мостів, автодоріг та інших будівель і споруд [4].

За результатами аналізу наукових робіт у цій галузі можна зробити висновок, що вико-

ристання прогресивних технологій та сучасних матеріалів допоможе зберегти дорожнє покриття в належному стані на тривалий період та економити кошти на його підтримку. Виходячи з результатів вищенаведеного аналізу, визначено мету роботи і напрями подальших досліджень.

Технічна характеристика об'єкта дослідження. У цій роботі дослідження проведено на ділянці Старий Салтів – Приколотне Харківської області з конструкцією дорожнього полотна – асфальтобетон. Дорожній одяг має різного ступеня руйнування й пошкодження внаслідок збройної агресії Російської Федерації. Для відновлення дорожнього одягу використано рекомендації, наведені в інформаційному довіднику [2], які використовують під час розроблення проектних рішень щодо відновлення автомобільних доріг загального користування та попередньої оцінки завданих збитків від їх руйнування або пошкодження.

Довжина ділянки, що підлягає відновленню, – 24,6 км, ширина дороги складає 6,0–6,5 м.

На підставі ДБН В.2.3.4–2015, п. 4.1, визначено категорію дороги за технічною специфікацією. За розрахункової інтенсивності – 150 приведених одиниць транспорту, дорогу віднесено до IV категорії. Асфальтобетонне покриття перебуває в незадовільному стані – вибоїни, викришування крайки проїзної частини, зруйноване узбіччя.

Указана автомобільна дороги за візуальним та геологічним обстеженням має ділянки зі слабкою основою. Тому ці ділянки охарактеризовані як ділянки з сильним ступенем руйнування. Інші ділянки охарактеризовані як з середнім ступенем.

З проведеного аналізу випливає, що в проекті необхідно передбачити дві конструкції дорожнього одягу, які будуть застосовуватись на ділянках з сильним та середнім ступенем руйнування.

Згідно з [1, 2] передбачена така конструкція на ділянках зі слабкою основою:

1) шар ЩПС С–7 згідно з ДСТУ Б В.2.7–30:2013;

2) ЩПС С–7 згідно з ДСТУ Б В.2.7–30:2013 укріплена цементом 3 %, $h = 12$ см;

3) розлив бітумної емульсії ЕКШ–50 за ДСТУ Б В.2.7–129:2013, 1 л/м²;

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

4) вирівнювальний шар АБ.Кр.Щ.А.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7–119–2011 на бітумі БНД 70/100 згідно з ДСТУ 4044–2019, $h_{\text{сер}} = 12$ см;

5) розлив бітумної емульсії ЕКШ–50 за ДСТУ Б В.2.7–129:2013, $0,4$ л/м²;

б) АБ.Др.Щ.А.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7–119–2011 на бітумі БНД 70/100 згідно з ДСТУ 4044–2019, $h = 5$ см.

На ділянках із середнім ступенем руйнування визначена така конструкція:

1) ЩПС С–7 згідно з ДСТУ Б В.2.7–30:2013 укріплена цементом 3 %, $h = 12$ см;

2) розлив бітумної емульсії ЕКШ–50 за ДСТУ Б В.2.7–129:2013, 1 л/м²;

3) вирівнювальний шар АБ.Кр.Щ.А.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7–119–2011 на бітумі БНД 70/100 згідно з ДСТУ 4044–2019, $h_{\text{сер}} = 12$ см;

4) розлив бітумної емульсії ЕКШ–50 за ДСТУ Б В.2.7–129:2013, $0,4$ л/м²;

5) АБ.Др.Щ.А.НП.І згідно з ДСТУ Б В.2.7–119–2011 на бітумі БНД 70/100 згідно з ДСТУ 4044–2019, $h = 5$ см.

Проводять роботи з капітального ремонту дорожнього одягу за такою технологією:

– зняття асфальтобетонного шару покриття всієї ділянки автомобільної дороги за методом холодного фрезерування;

– зрізання щебеневої основи в місцях із сильним ступенем руйнування покриття бульдозером;

– засипання основи в місцях із сильним ступенем руйнування покриття щебенево-піщаною сумішшю та вирівнювання грейдером з ущільненням котками;

– улаштування на всій ділянці ремонту щебенево-піщаної суміші, укріпленої цементом, асфальтоукладальником з ущільненням котками;

– улаштування на всій ділянці ремонту нижнього шару покриття з крупнозернистого щільного асфальтобетону асфальтоукладальником з ущільненням котками;

– улаштування на всій ділянці ремонту верхнього шару покриття з дрібнозернистого

щільного асфальтобетону асфальтоукладальником з ущільненням котками.

Технологія виконання робіт ґрунтується на типових технологічних картах на влаштування основи дорожнього одягу, нижнього шару покриття і влаштування верхнього шару покриття [12–14].

Розробка й порівняння варіантів дорожнього одягу залежить від ступеня руйнування автомобільної дороги. На ступінь руйнування впливає багато факторів, таких як масштаби бойових дій, тип дорожнього покриття, стан дороги та інші. У випадку середнього та сильного руйнування дорожнього покриття можуть знадобитися більш трудомісткі роботи для відновлення доріг – виконання капітального ремонту або повна перебудова дороги. Після воєнних дій дорожнє покриття було зруйновано на 50 %, що внесло немалі труднощі у планування руху транспорту та збільшило ризик аварій на дорозі.

Варіанти проектних схем можуть мати суттєві відмінності за технічними показниками, вартістю будівництва, якістю транспортування та експлуатації, показниками щодо гарантування безпеки руху та вимог охорони навколишнього середовища. Загальним критерієм вибору оптимального варіанта є показник ефективності капітальних вкладень та експлуатаційні показники протягом життєвого циклу дороги [3].

Відповідно до рекомендацій [2], вибір варіанта конструкції дорожнього одягу проведено таким чином:

а) визначено категорію автомобільної дороги за ДБН В.2.3–4–2015 [5];

б) визначено ступінь руйнування автомобільної дороги. Узятю, що на половині ділянки руйнування дорожнього одягу слід розглядати як сильне на всю товщину без пошкодження земляного полотна;

в) вибрано з таблиці 4 [2] варіанти конструкції дорожнього одягу з наведених альтернативних варіантів з урахуванням паспортних даних та аналізу технічної інформації.

Варіанти конструкції дорожнього одягу наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Варіанти конструкції дорожнього покриття у випадку сильного руйнування автодороги

Table 1

Options for road pavement construction in case of severe road destruction

Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
Матеріал	h, см	Матеріал	h, см	Матеріал	h, см	Матеріал	h, см
Асфальтобетон АСГ.Др.Щ.А.НП.І. БНД 70/100	5	Асфальтобетон АСГ.Др.Щ.А.НП.І. БНД 70/100	5	Асфальтобетон АСГ.Др.Щ.А.НП.І. БНД 70/100	5	Цементобетон дорожній В _т 3,6; В25; F200; W8	18
Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А.НП.І. БНД 70/100	10	Асфальтобетон АСГ.Др.Щ.А.НП.І. БНД 70/100	7	СБМД.Г.Кр.Щ.І БНД 70/100	10	Цементобетон дорожній В _т 0,8; В5,5; F75; W4	15
ЩПС–20, укріплена цементом марка матеріалу М20	12	ЩПС-20, укріплена цементом марка матеріалу М20	12	ЩПС С7	17	ЩПС С7	17
ЩПС С–7	17	ЩПС С7	17	Пісок щільний природний або з відсівів дроблення гірських порід	15	Пісок щільний природний або з відсівів дроблення гірських порід	20
Пісок щільний природний або з відсівів дроблення гірських порід	20	Пісок щільний природний або з відсівів дроблення гірських порід	20				

Порівняння варіантів проведено з урахуванням вартості основних матеріалів, тобто асфальтобетону і цементобетону, згідно з цінами на дорожньо-будівельні матеріали за даними служб автомобільних доріг в областях за період

2015–2022 рр. База даних цін на матеріальні ресурси доступна за посиланням [16].

Графіки зміни цін протягом останніх п'яти років на основні будівельні матеріали наведено на рис. 1–4. Червоними лініями позначено лінії тренду зміни цін.

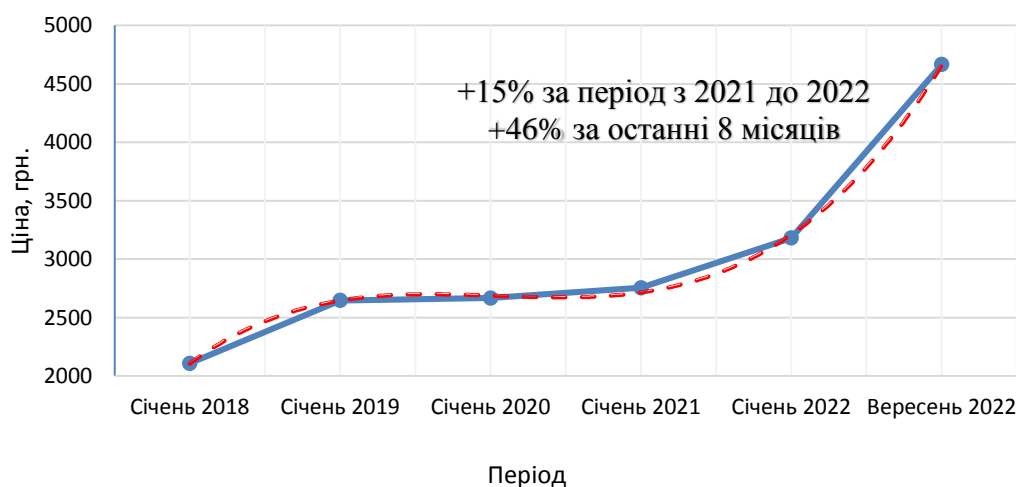


Рис. 1. Динаміка зміни цін на крупну асфальтобетонну суміш

Fig. 1. Dynamics of changes in prices for coarse asphalt mix

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

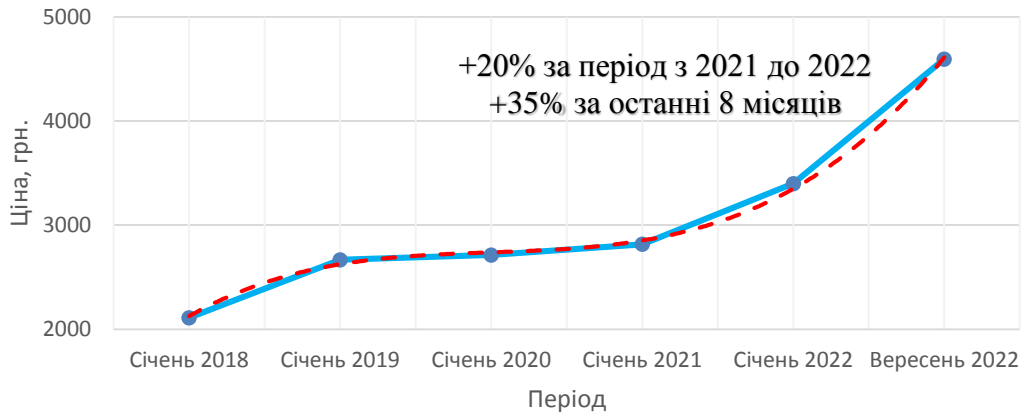


Рис. 2. Динаміка зміни цін на дрібну асфальтобетонну суміш

Fig. 2. Dynamics of changes in prices for fine asphalt mix

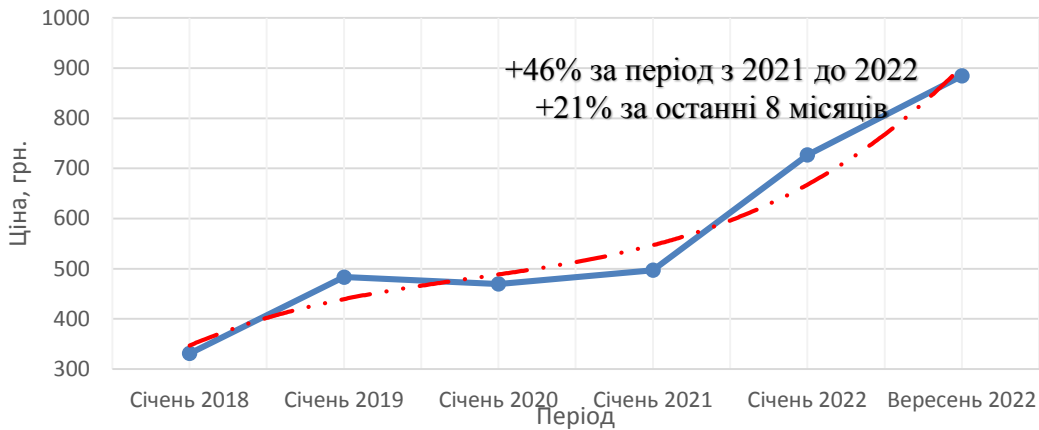


Рис. 3. Динаміка зміни цін на ЦПС С–5

Fig. 3. Dynamics of changes in prices for daily-grain mix c–5

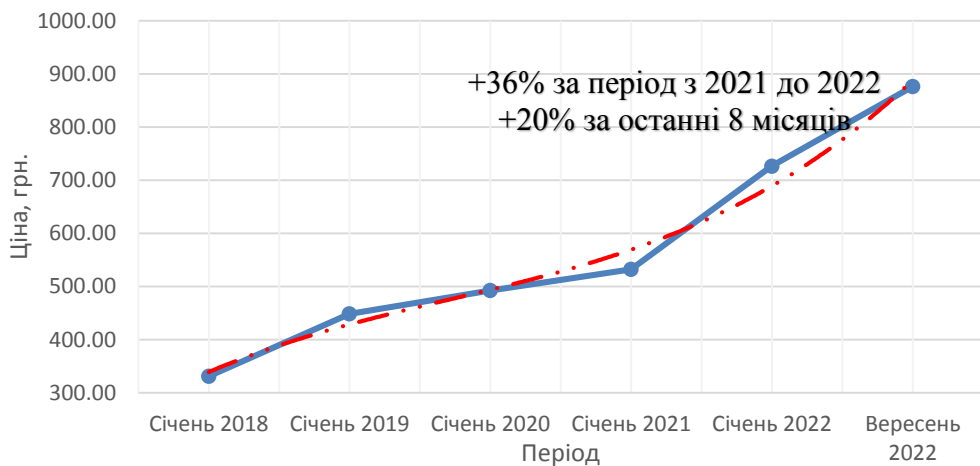


Рис. 4. Динаміка зміни цін на ЦПС С–7

Fig. 4. Dynamics of changes in prices for daily-grain mix C–7

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

З урахуванням даних табл. 1 і цін матеріалів (рис. 1–4) було визначено вартість за кожним із варіантів за формулою:

$$K = (a_1 \cdot Q_1 + a_2 \cdot Q_2 + a_3 \cdot Q_3 + a_4 \cdot Q_4), \quad (1)$$

де Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – об'єм шару асфальтобетону, цементобетону та інших шарів для відповідного варіанта; a_1, a_2, a_3, a_4 – ціна асфальтобетону, цементу та інших матеріалів згідно з рис. 1–4.

Об'єм матеріалу знаходимо як добуток ширини проїжджої частини B (м), товщини шару h (см) і довжини ділянки L (км), що підлягає відновленню:

$$Q = B \cdot (h \cdot 10^{-2}) \cdot (L \cdot 10^3) \cdot (\delta \cdot 10^{-2}), \quad (2)$$

де δ – відсоток зруйнованої автодороги.

Результати

Розглянемо приклад розрахунків для варіанта 1. Використовуючи вихідні дані (табл. 1), ціни на асфальтобетонну суміш

(рис. 1, 2) і дані щодо проїжджої частини для автодороги категорії IV [6] (рис. 5), отримуємо:

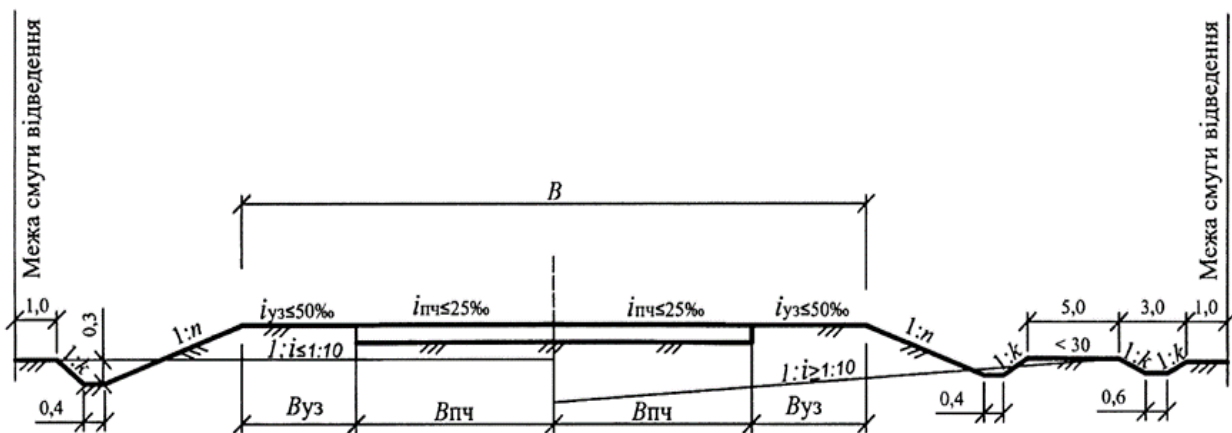
$$B = 6,0 \text{ м}; h = 5 \text{ см}; L = 24 \text{ км}; \delta = 50 \text{ \%}.$$

Схеми поперечних профілів автомобільних доріг наведено в додатку А ДСТУ Б. 2.3–33:2016 [6] та на рис. 1.3 і 1.4 [9].

Тоді за формулою (2) об'єм асфальтобетону крупнозернистого пористого типу А–Б буде дорівнювати:

$$Q = 6,0 \times (5 \times 10^{-2}) \times (24 \times 10^3) \times (50 \times 10^{-2}) = 3600 \text{ м}^3.$$

Об'єми матеріалів для інших шарів розраховують аналогічно з урахуванням можливої зміни їхньої товщини (див. табл. 1). Далі розраховують вартості для варіантів 1–4, табл. 2 [15].



B для: восьми смуг руху дороги I-а категорії – 43,5 м; шести смуг руху дороги I-а категорії – 36,0 м; шести смуг руху дороги I-б категорії – 33 м; чотирьох смуг руху дороги I-а категорії – 28,5 м; чотирьох смуг руху дороги I-б категорії – 25,5 м; для дороги II категорії – 15,0 м; для дороги III категорії – 12,0 м; для дороги IV категорії – 10,0 м; для дороги V категорії – 8,0 м;

$B_{уз}$ для: I-а, I-б, II – 3,75 м; III – 2,5 м; IV – 2,0 м; V – 1,75 м;

$B_{пч}$ для: восьми смуг руху дороги I-а категорії – 2 м × 15 м; для шести смуг руху дороги I-а, I-б категорій – 2 м × 11,25 м; для чотирьох смуг руху дороги I-а, I-б категорій – 2 м × 7,5 м; для дороги II категорії – 7,5 м; для дороги III категорії – 7,0 м; для дороги IV категорії – 6,0 м; для дороги V категорії – 4,5 м.

Рис. 5. Схема поперечного профілю земляного полотна в насипі висотою до 6,0 м [6]

Fig. 5. Cross-sectional profile of the subgrade in an embankment up to 6.0 m high [6]

Таблиця 2

Розрахункові дані за варіантами

Table 2

Estimated data by options

Варіант	Тип матеріалу	Товщина шару, см	Об'єм матеріалу, м ³	Вартість	
				на одиницю, грн	загальна, тис. грн
1	2	3	4	5	6
1	АСГ.Др.Щ.А–Б.НП.І.БНД 70/100 – асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу А–Б непереривчастого зернового складу, марки І, бітум марки БНД 70/100	5	3 600	4 600	16 560
	АСГ.Кр.Щ.А–Б.НП.І.БНД 70/100 – асфальтобетон крупнозернистий щільний типу А–Б непереривчастого зернового складу, марки І, бітум марки БНД 70/100	10	7 200	4 600	33 120
	ЩПС–20, укріплена цементом марка матеріалу М20	12	8 640	1 650	14 256
	ЩПС С7	17	12 240	890	10 894
	Загальна вартість за варіантом 1				74,83 млн грн
2	АСГ.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 – асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу А, непереривчастого зернового складу, марки І, бітум марки БНД 70/100	5	3 600	4 600	16 560
	АСГ.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 – асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу А, непереривчастого зернового складу, марки І, бітум марки БНД 70/100	7	5 040	4 600	23 184
	ЩПС–20, укріплена цементом марка матеріалу М20	12	8 640	1 650	14 256
	ЩПС С7	17	12 240	890	10 894
	Загальна вартість за варіантом 2				64,89 млн грн
3	АСГ.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 – асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу А, непереривчастого зернового складу, марки І, бітум марки БНД 70/100	5	3 600	4 600	16 560
	СБМД.Г.Кр.Щ.І. БНД 70/100 – суміш бітумомінеральна дорожня гаряча, крупнозерниста, щільна, марки І, бітум марки БНД 70/100, згідно з ДСТУ Б В.2.7–305	10	7 200	4 600	33 120
	ЩПС С7	17	12 240	890	10 894
	Загальна вартість за варіантом 3				60,57 млн грн

Продовження табл. 2
Continuation of Table 2

Варіант	Тип матеріалу	Товщина шару, см	Об'єм матеріалу, м ³	Вартість	
				на одиницю, грн	загальна, тис. грн
1	2	3	4	5	6
4	Цементобетон дорожній В _т 3,6; В25; F200; W8	18	12 900	2 840	36 636
	Цементобетон дорожній В _т 0,8; В5,5; F75; W4	15	10 800	2 050	22 140
	ЩПС С7	17	12 240	890	10 894
Загальна вартість за варіантом 4				69,67 млн грн	

Варіант 3 конструкції дорожнього одягу на автомобільних дорогах категорії IV, порівняно з іншими варіантами, потребує меншої кількості матеріалу, що дозволяє зменшити час і витрати на використання техніки й робочої сили. Крім того, процес реалізації третього варіанту є менш складним за технологічними вимогами, що буде сприяти простоті його здійснення і скороченню термінів відбудови. На основі показників табл. 2 було встановлено, що варіант 3 дешевший на 19,1 % відносно 1-го, на 5,8 % відносно 2-го і на 12,2 % відносно 4-го, табл. 3 [15].

Таблиця 3

Порівняльна вартість за варіантами

Table 3

Comparative cost by option

Номер варіанта	Вартість, млн грн/км	Відсоток, %
Варіант 1	6,236	100
Варіант 2	5,408	86,7
Варіант 3	5,048	80,9
Варіант 4	5,806	93,1

Крім вартості будівництва, важливо оцінити вартість ремонту та обслуговування протягом життєвого циклу дорожнього покриття, а також експлуатаційні показники, пов'язані з тривалістю служби, опором руху, зносостійкістю, шу-

мом, вібрацією і в остаточному підсумку – з безпекою руху транспортних засобів. Вартість ремонту та обслуговування протягом життєвого циклу дорожнього покриття є ключовим аспектом у плануванні та управлінні інфраструктурою. Оцінка цих витрат допомагає ефективно розподіляти бюджет, визначати пріоритети й раціонально витратити ресурси на підтримання якості доріг [15].

1. *Життєвий цикл*. Тривалість служби асфальтобетону й цементобетону може значно різнитися залежно від багатьох факторів, таких як якість матеріалів, конструкції дорожнього покриття, трафік, кліматичні умови, рівень обслуговування та ін.. Тривалість служби асфальтобетону зазвичай коливається від 10 до 20 років, тривалість служби цементобетону може досягати 20–30 років.

2. *Опір руху транспортних засобів*. Матеріали покриття можуть суттєво впливати на опір руху транспортних засобів, що позначається на витраті пального, швидкості руху та загальній продуктивності транспорту. Традиційний асфальтобетон має досить низький опір руху, що сприяє більш низькій витраті пального й дозволяє досягати високих швидкостей.

3. *Зносостійкість*. Різні матеріали мають різну тривалість служби та здатність до зносостійкості й механічного навантаження. Асфальтобетон має добру стійкість до зносу за помірних навантажень та правильного обслуговування. Цементобетон є відносно стійким до зносу

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

і може довго зберігати свою структуру за великих навантажень.

4. *Склад матеріалів і технологія.* Використання високоякісних матеріалів (бітуму, цементу та інших компонентів), які відповідають вимогам стандартів, може збільшити тривалість служби дорожнього одягу. Правильний вибір матеріалів і відповідна технологія укладання асфальту, бетону або інших матеріалів, урахування конкретних умов та вимог можуть значно подовжити життєвий термін дорожнього покриття.

5. *Поточне утримання.* Асфальтобетон регулярного планового обслуговування та періодичного заповнення тріщин і ям. Вартість ремонту може залежати від інтенсивності трафіку, кліматичних умов, якості виконання робіт. Цементобетон менше потребує регулярного ремонту порівняно з асфальтобетоном, але ремонт може бути більш складним та дороговартісним процесом через високу жорсткість матеріалу.

6. *Стійкість до погодних умов.* Покриття, яке краще витримує вплив погодних факторів, пов'язане з властивостями матеріалів, їх структурою та якістю будівництва. Так, цементобетон відомий своєю високою стійкістю до погодних умов. Він може витримувати екстремальні температури, цикли заморожування-відлиги та інші погодні випробування. Цементобетон менше схильний до пошкоджень під впливом сонячної радіації та ультрафіолету.

7. *Безпека руху.* Різні типи дорожніх покриттів можуть впливати на безпеку руху та можливість ДТП (дорожньо-транспортних пригод) залежно від їхніх фізичних характеристик та інших факторів. Для сухої погоди та швидкості 80–100 км/год на асфальтобетонному покритті гальмівний шлях може бути приблизно 40–60 метрів. У випадку цементобетону, який має жорстку структуру, гальмівний шлях може бути трохи коротшим, у діапазоні 35–55 метрів.

8. *Шум і вібрація.* Матеріали покриття можуть мати значний вплив на екологічні аспек-

ти, такі як забруднення повітря, води, ґрунту, енергоефективність та стійкість природних екосистем. Наприклад, виготовлення цементобетону вимагає значного споживання енергії та води супроводжується викидами парникових газів, зокрема CO₂. Вибір матеріалів покриття може впливати на рівень шуму та світлового забруднення, від якого залежить якість життя мешканців. Шум і вібрація асфальтобетонного покриття може залежати від його текстури та структури. Цементобетон може мінімізувати шум, оскільки його жорстка структура зазвичай забезпечує менший рівень коливань і вібрації.

9. *Стійкість до завантаження.* Цементобетон може бути корисним у місцях із високою інтенсивністю руху та важкими транспортними засобами. Він є більш стійким до великого навантаження та зносу, але вимагає більшої уваги до технології будівництва й обслуговування.

10. *Екологічні аспекти.* Від матеріалів покриття значно залежать екологічні аспекти, такі як забруднення повітря, води, ґрунту, енергоефективність та стійкість природних екосистем. Вибір матеріалу покриття може визначити, як добре дорожні проекти відповідають екологічним стандартам та сприяють сталому розвитку. Це допоможе знизити негативний вплив дорожніх проектів на навколишнє середовище та підвищити їхню екологічну придатність.

Перелічені показники допомагають провести комплексну оцінку та визначити оптимальний тип дорожнього покриття залежно від конкретних умов і потреб [10].

Порівняння різних варіантів дорожнього покриття виконано шляхом використання «матриці пріоритетів», де рядки відповідають різним типам дорожнього покриття, а стовпці – різним аспектам порівняння (табл. 4). Тут використано шкалу оцінок від 1 до 5 для кожного аспекту. Сумарна оцінка для кожного типу покриття надає можливість отримати загальну оцінку, відповідно до якої перевагу слід надати варіанту 4 [15].

Матриця пріоритетів варіантів дорожнього одягу

Table 4

Matrix of prioritization of pavement options

Основні характеристики дорожнього покриття	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
	Асфальтобетон крупнозернистий пористий типу А–Б	Асфальтобетон дрібнозернистий щільний типу А	Бітумінеральна дорожня гаряча дрібнозерниста суміш	Цементобетон дорожній
Життєвий цикл	3	4	3	5
Опір руху	4	4	2	3
Зносостійкість	3	4	3	5
Склад матеріалів і технологія	3	3	2	4
Поточне утримання	5	5	4	3
Стійкість до погодних умов	3	4	3	5
Безпека руху	4	4	3	5
Шум і вібрації	3	3	4	3
Стійкість до завантаження	4	4	3	5
Екологічні аспекти	3	4	2	3
Сума показників	35	39	29	41

Наукова новизна та практичне значення

У роботі набули подальшого розвитку наукові підходи до встановлення конструкції дорожнього покриття за об'ємами й вартістю матеріалів із корегуванням прийнятого рішення за експлуатаційними показниками, що враховують тривалість служби, опір руху транспортним засобам, зносостійкість, шум, вібрацію і в остаточному підсумку – безпеку руху транспортних засобів. Надані рекомендації з відновлення дорожнього покриття залежно від ступеня руйнування сприятимуть прийняттю ефективних проектних рішень та попередньої оцінки завданих збитків від руйнування або пошкодження автомобільних доріг унаслідок збройної агресії Російської Федерації.

Висновки

Під час вибору методу організації будівельних робіт із відновлення дорожнього одягу слід враховувати наявність матеріалів, технічного оснащення і термінів відбудови. Вибір конс-

трукції покриття і матеріалу залежить від ступеню руйнування дороги і встановлюється за техніко-економічними показниками з урахуванням життєвого циклу автомобільної дороги.

Аналіз наукових праць є важливим інструментом для розуміння наявних методів відновлення дорожнього покриття, вчасного обстеження та застосування відповідних заходів. Загальний аналіз розглянутих у роботі наукових праць допомагає визначити найбільш ефективні та вартісні методи реконструкції дорожнього покриття, а також планувати стратегії для збереження та підтримання якості доріг.

У виборі конструкції дорожнього покриття для відновлення автомобільних доріг загального користування необхідно надавати перевагу варіантному способу, який дозволяє виявити оптимальну конструкцію на основі врахування різних факторів і обрати варіант, що відповідає конкретним умовам, бюджету й технічним вимогам.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Якщо враховувати ступінь руйнування автомобільної дороги як попередній варіант, можна розглядати рекомендації, наведені в «Альбомі типових конструкцій дорожнього одягу», для відновлення автомобільних доріг загально-користування та попередньої оцінки завданих збитків від їх руйнування внаслідок збройної агресії Російської Федерації.

На основі розрахунку об'ємів матеріалів і їхньої вартості як тимчасовий може бути запропонований варіант із використанням асфальтобетону, бітумомінеральної дорожньої гарячої крупнозернистої суміші, а також щебенево-піщаної суміші. Варіант порівняно з іншими потребує меншої кількості матеріалу, що дозволяє зменшити використання техніки, робо-

чої сили, та дозволяє скоротити витрати й ризики потенційних проблем із доставкою або доступністю цих ресурсів, є менш складним щодо технології робіт, а це сприятиме простоті його здійснення і скорочення термінів відбудови автомобільної дороги.

Водночас, зважаючи на вартість ремонту та обслуговування протягом життєвого циклу дорожнього покриття, на перспективу може бути рекомендований варіант із цементобетонним покриттям, що враховує експлуатаційні показники, пов'язані з тривалістю служби, опором руху, зносостійкістю, шумом, вібрацією і в остаточному підсумку – з безпекою руху транспортних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. ГБН В.2.3-37641918-559:2019*. Київ, Міністерство інфраструктури України, 2019. 63 с.
2. *Альбом конструкцій дорожнього одягу*. Укравтодор, ДП «ДЕРЖДОРНДІ». Київ, 2022. 26 с.
3. Безуглий А. О., Ілляш С. І., Тимошук О. Ю. Техніко-економічне обґрунтування вибору варіанту конструкцій дорожнього одягу. *Дороги і мости*. 2015. № 15. С. 27–34.
4. Ваков І. Ю. *Капітальний ремонт автомобільної дороги Одеса-Рені з розробкою заходів з експлуатаційного утримання в зимовий період* : дипломна робота на здобуття ступеня магістр. Національний авіаційний університет. Київ, 2020. 151 с.
5. *ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ Будівництво* [Чинний від 2017-04-01]. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. 104 с.
6. *ДСТУ Б В.2.3-33:2016 Автомобільні дороги. Визначення меж смуг відведення* [Чинний від 2017-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. 31 с.
7. Іванов Р. В., Курган М. Б. Інновації на залізничних переїздах країн ЄС і України. *Матеріали Міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука : інновації та перспективи»* (Київ, 6-7 квітня 2023). Київ. С. 58–62.
8. Притоманов В., Мельник З., Шляхетко А. *Зелена книга. Будівництво та ремонт автомобільних доріг*. Офіс ефективного регулювання BRDO. Київ, 2020. 120 с.
9. *Ресурсозбереження та новітні технології в дорожньому будівництві матеріалів* : методичні рекомендації до практичних занять / уклад. М. Б. Курган, М. О. Гаврилов М. А. Гусак Н. П. Хмелевська. Укр. держ. ун-т науки і технологій. Дніпро, 2023. 41 с.
10. Солодкий С. Й., Сідун Ю. В. Інноваційні матеріали та технології в дорожньому будівництві. Частина І. *Матеріали та технології на основі органічних в'язучих*. Львівська політехніка, 2021. 232 с.
11. *Технічний стан автомобільних доріг загального використання*. URL: <https://mtu.gov.ua/content/tehnichniy-stan-avtomobilnih-dorigavtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html>
12. *TK 218-03450778-128:2011 Технологічна карта на влаштування верхнього шару покриття товщиною 5 см із дослідної партії гарячої дрібнозернистої асфальтобетонної суміші з протиожеледними добавками асфальтоукладальником на гусеничному ході Voge Super 2100*. ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), 2011.
13. *TK 37641918/03450778-149:2012 Типова технологічна карта на влаштування основи дорожнього одягу товщиною 18 см з оптимальної піщано-щебеневої суміші, обробленої цементом, асфальтоукладальником на гусеничному ході VOGELE SUPER 2100*. ДП «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), 2012.

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

14. ТК 37641918/03450778-150:2012 Типовая технологическая карта на устройство нижнего слоя покрытия толщиной 8 см из горячей асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком на гусеничном ходу VOGELE SUPER 2100. ГП «Государственный дорожный научно-исследовательский институт имени М. П. Шульгина» (ГП «ГосдорНИИ»), 2012.
15. Улановський В. І. Організація будівельних робіт з відновленням дорожнього одягу в залежності від ступеня руйнування автомобільної дороги : кваліфікаційна робота на ступінь вищої освіти бакалавр. Дніпро, 2023. 51 с.
16. Ціни на дорожньо-будівельні матеріали згідно даних служб автомобільних доріг в областях за липень 2023 року. URL: <https://prices.dorndi.org.ua/sum/>
17. ARRB - Australian Road Research Board. URL: https://lv.linkedin.com/posts/arrb-group_arrb-ntro-materials-activity-6980366677486030849-CTwI
18. Chen D., Hildreth J., Mastin N. Determination of IRI Limits and Thresholds for Flexible Pavements. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*. 2019. Vol. 145. Iss. 2. P. 04019013. DOI: <https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000113>
19. Chu C., Wang L., Xiong H. A review on pavement distress and structural defects detection and quantification technologies using imaging approaches. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2022. Vol. 9. Iss. 2. P. 135–150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.007>
20. Gulzar S., Fried A., Preciado J., Castorena C., Underwood S., Habbouche J., Boz I. Towards sustainable roads: A State-of-the-art review on the use of recycling agents in recycled asphalt mixtures, *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 406. P. 136994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136994>
21. Nikolaienko I., Khara M., Meredova M., Valiyeva S. Research of the theory and practice of multimodal transportation. *Логістика і транспортна безпека: проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів, загроз; збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції* (Дніпро, 28 жовтня 2022 р.). УДУНТ. Дніпро, 2022. С. 49–51.
22. Shaikh S. G., Mahajan D. U., Shaikh M. N. S., Wadekar A. P. Scientific Study of Asphalt Road Surface Distress and their Role in the Design of Flexible Pavements. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. Vol. 70. Iss. 1. P. 220–232. DOI: <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v70i1p227>
23. Yao L., Dong Q., Ni F., Jiang J. Effectiveness Evaluation of Asphalt Pavement Maintenance Treatments Based on Equivalent Area Method. *Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Transportation Geotechnics and Pavement Engineering*. 2018. P. 379–388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0011-0_41

O. F. LUZHYTSKYI¹, M. B. KURHAN^{2*}, M. A. HUSAK³, V. I. ULANOVSKYI⁴

¹Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail oleg.luzhickii@gmail.com, ORCID 0000-0001-6519-7447

^{2*}Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail kunibor@gmail.com, ORCID 0000-0002-8182-7709

³Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail marka2410@gmail.com, ORCID 0000-0001-8187-7792

⁴Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 48, e-mail vasya.ulanovskij@gmail.com, ORCID 0009-0002-6316-9172

Restoration of Road Pavement Depending on the Degree of Destruction of the Road

Purpose. The main purpose of this work is to develop a methodology for road pavement restoration depending on the degree of road destruction. **Methodology.** The study is based on the recommendations of the information guide for designers and customers in the development of design solutions for the rehabilitation of public roads and a preliminary assessment of the damage caused by their destruction as a result of the armed aggression of the Russian Federation. To assess the condition of the road and determine the necessary pavement rehabilitation work, indices can be used that take into account different types of defects on the road. Comparison of different road surface options was performed using a «priority matrix». The total score for each type of pavement makes it possible to determine the most rational option. **Findings.** The study found that when choosing a method for organizing construction work on pavement rehabilitation, the availability of materials, technical equipment, and the timing of rehabilita-

ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ ТА АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

tion should be taken into account. The choice of pavement design and material depends on the degree of road destruction, which is determined by technical and economic indicators, taking into account the life cycle of the road. The cost of repair and maintenance over the life cycle of a pavement is a key aspect of infrastructure planning and management. Estimation of these costs helps to effectively allocate the budget, prioritize and rationally spend resources to maintain road quality. **Originality.** Methodological approaches to the establishment of the pavement structure by the volume and cost of materials with the adjustment of the decision made by operational indicators, taking into account the service life, resistance to traffic, wear resistance, noise, vibration and, ultimately, vehicle safety, are proposed. **Practical value.** The provided recommendations for road pavement rehabilitation, depending on the degree of destruction, will contribute to the adoption of effective design solutions and preliminary assessment of the damage caused by the destruction or damage to roads as a result of the armed aggression of the Russian Federation.

Keywords: highway; cross-sectional profile; roadway; embankment; excavation; subgrade volumes; asphalt concrete pavement; cement concrete pavement

REFERENCES

1. *Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia. HBN V.2.3-37641918-559:2019.* (2019). Kyiv, Ministry of Infrastructure of Ukraine. (in Ukrainian)
2. *Album of Road Pavement Designs.* (2022). Ukravtodor, «DerzhdorNDI SE». Kyiv. (in Ukrainian)
3. Bezuglyi, A., Illyash, S., & Tymoshchuk, O. (2015). Feasibility study of selection of alternative pavement structures. *Dorogi i mosti (Roads and bridges)*, 15, 27-34. (in Ukrainian)
4. Vakov, I. Yu. (2020). *Kapitalnyi remont avtomobilnoi dorohy Odesa-Reni z rozrobkoiu zakhodiv z ekspluatatsiinoho utrymannia v zymovyi period* (Master's thesis). National Aviation University. Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian)
5. *Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo, 104 DBN V.2.3-4:2015.* (2015). (in Ukrainian)
6. *DSTU B V.2.3-33:2016 Avtomobilni dorohy. Vyznachennia mezh smuh vidvedennia, 31 DSTU B V.2.3-33:2016.* (2016). (in Ukrainian)
7. Ivanov, R. V., & Kurgan, M. B. (2023, April). Innovations in railway crossings in the EU and Ukraine. In *Materials of the International Multidisciplinary Scientific-Practical Online Conference of Young Researchers, Higher Education Candidates, and Scholars 'Modern Science: Innovations and Perspectives'* (pp. 58-62). (in Ukrainian)
8. Prytomanov, V., Melnyk, Z., & Shliakhetko, A. (2020). *Zelena knyha. Budivnytstvo ta remont avtomobilnykh dorih.* Office of Efficient Regulation BRDO. Kyiv. (in Ukrainian)
9. Kurgan, M. B., Gavrilov, M. O., Gusak, M. A., & Khmelevska, N. P. (Comp.). (2023). *Resursozberezhennia ta novitni tekhnologii v dorozhnomu budivnytstvi materialiv: metodychni rekomendatsii do praktychnykh zaniat.* Ukrainian State University of Science and Technology. Dnipro. (in Ukrainian)
10. Solodkyi, S. Y., & Sidun, Y. V. (2021). Innovatsiini materialy ta tekhnologii v dorozhnomu budivnytstvi. In *Materialy ta tekhnologii na osnovi orhanichnykh viazhuchykh* (Ch. 1). Lviv Polytechnic. (in Ukrainian)
11. *Technical condition of general-purpose roads.* Retrieved from <https://mtu.gov.ua/content/tehnichnyi-stan-avtomobilnih-dorigavtomobilnih-dorig-zagalnogo-vikoristannya.html> (in Ukrainian)
12. *TK 218-03450778-128:2011 Tekhnologichna karta na vlashtuvannia verkhnoho sharu pokryttia tovshchynoiu 5 sm iz doslidnoi partii hariachoi dribnozernystoi asfaltobetonnoi sumishi z protyozhelednymy dobavkamy asfaltoukladalnykom na husenychnomu khodu Voge Super 2100.* (2011). State Enterprise 'State Road Research Institute named after M. P. Shulgin' (SE 'DerzhDorNDI'). (in Ukrainian)
13. *TK 37641918/03450778-149:2012 Typova tekhnologichna karta na vlashtuvannia osnovy dorozhnoho odiahu tovshchynoiu 18 sm z optimalnoi pishchano-shchebenevoi sumishi, obroblenoi tsementom, asfaltoukladalnykom na husenychnomu khodu VOGELE SUPER 2100.* (2012). State Road Research Institute named after M.P. Shulgin, State Enterprise 'DerzhDorNDI'. (in Ukrainian)
14. *TK 37641918/03450778-150:2012 Tipovaya tekhnologicheskaya karta na ustroystvo nizhnego sloya pokrytiya tolshchinoy 8 sm iz goryachey asfaltobetonnoy smesi asfaltoukladchikom na gusenichnom khodu VOGELE SUPER 2100.* (2012). GP «Gosudarstvennyy dorozhnyy nauchno-issledovatel'skiy institut imeni M.P. Shulgina» (GP «GosdorNII»). (in Russian)
15. Ulanovskiy, V. I. (2023). *Orhanizatsiia budivelnykh robiv z vidnovlenniam dorozhnoho odiahu v zalezhnosti vid stupenia ruinuvannia avtomobilnoi dorohy* (Qualification thesis). Dnipro. (in Ukrainian)

16. *Tsiny na dorozhno-budivelni materialy zghidno danykh sluzhb avtomobilnykh dorih v oblastiakh za lypen 2023 roku*. Retrieved from <https://prices.dorndi.org.ua/sum/> (in Ukrainian)
17. *ARRB - Australian Road Research Board*. Retrieved from https://lv.linkedin.com/posts/arrb-group_arrb-ntro-materials-activity-6980366677486030849-CTwI (in English)
18. Chen, D., Hildreth, J., & Mastin, N. (2019). Determination of IRI Limits and Thresholds for Flexible Pavements. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 145(2), 04019013. DOI: <https://doi.org/10.1061/jpeodx.0000113> (in English)
19. Chu, C., Wang, L., & Xiong, H. (2022). A review on pavement distress and structural defects detection and quantification technologies using imaging approaches. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 9(2), 135-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.04.007> (in English)
20. Gulzar, S., Fried, A., Preciado, J., Castorena, C., Underwood, S., Habbouche, J., & Boz, I. (2023). Towards sustainable roads: A State-of-the-art review on the use of recycling agents in recycled asphalt mixtures. *Journal of Cleaner Production*, 406, 136994. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136994> (in English)
21. Nikolaienko, I., Khara, M., Meredova, M., & Valiyeva, S. (2022, Oct.). Research of the theory and practice of multimodal transportation. In *Lohistyka i transportna bezpeka: problemy ta perspektyvy rozvytku v konteksti analizu suchasnykh vyklykiv, zahroz; zbirnyk naukovykh prats za materialamy Vseukrainskoi naukovoï konferentsii* (pp. 49-51). USUST. Dnipro, Ukraine. (in English)
22. Shaikh, S. G., Mahajan, D. U., Shaikh, M. N. S., & Wadekar, A. P. (2022). Scientific Study of Asphalt Road Surface Distress and their Role in the Design of Flexible Pavements. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(1), 220-232. DOI: <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v70i1p227> (in English)
23. Yao, L., Dong, Q., Ni, F., & Jiang, J. (2018). Effectiveness Evaluation of Asphalt Pavement Maintenance Treatments Based on Equivalent Area Method. *Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Transportation Geotechnics and Pavement Engineering*, 379-388. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-0011-0_41 (in English)

Надійшла до редколегії: 29.02.2023

Прийнята до друку: 30.06.2023